



---

## **Европейская экономическая комиссия**

Исполнительный орган по Конвенции  
о трансграничном загрязнении воздуха  
на большие расстояния

**Сорок третья сессия**

Женева, 11–14 декабря 2023 года

Пункт 3 b) предварительной повестки дня

**Обзор осуществления плана работы**

**на 2022–2023 годы: политика**

### **Проект руководящего документа по техническим мерам для сокращения выбросов загрязнителей воздуха от судоходства**

#### *Резюме*

Настоящий документ, подготовленный Целевой группой по технико-экономическим вопросам в соответствии с ее мандатом, был обсужден Рабочей группой по стратегиям и обзору на ее шестьдесят первой сессии (Женева, 4–6 сентября 2023 года) и передан с внесенными в ходе сессии поправками Исполнительному органу для принятия на его сорок третьей сессии (ECE/EB.AIR/130, готовится к изданию). В нем представлена обновленная информация об эффективных средствах сокращения выбросов от морского судоходства.



## I. Введение

1. Цель настоящего документа — представить Сторонам Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния и другим заинтересованным кругам самую последнюю информацию об эффективных мерах по сокращению выбросов загрязнителей воздуха от морского судоходства и связанных с ними воздействиях на здоровье человека и окружающую среду.
2. В руководящем документе изложены методы ограничения загрязнения, применимые к судам, как во время плавания, так и на стоянке для ограничения выбросов в атмосферу оксидов серы (SO<sub>x</sub>), оксидов азота (NO<sub>x</sub>), летучих органических соединений (ЛОС), дисперсного вещества (PM), совокупного взвешенного дисперсного вещества (СВДВ), PM<sub>10</sub> и PM<sub>2.5</sub>, включая черный углерод (ЧУ) и полиароматические углеводороды (ПАУ). Кроме того, там, где это уместно, в настоящем руководстве приводится информация о сопутствующих выгодах, связанных с сокращением выбросов парниковых газов (ПГ). Дальнейший анализ и дополнительная информация представлены в соответствующем справочном неофициальном техническом докладе<sup>1</sup>.
3. В целом все оцененные методы обеспечивают измеримое сокращение выбросов по сравнению с эталонной технологией и являются технически реализуемыми при определенных конкретных условиях, зависящих от рассматриваемых методов. Вместе с тем перечень всех существующих и/или перспективных мер не является исчерпывающим.

## II. Определения

4. Ниже приводится список определений терминов, используемых в настоящем документе:

а) «PM» используется в настоящем документе для обозначения СВДВ, поскольку конкретный диапазон размеров частиц не рассматривается. Тем не менее различия между СВДВ и PM могут быть весьма незначительными при сжигании судового топлива. Согласно Руководству по кадастрам выбросов загрязнителей воздуха Совместной программы наблюдения и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе/Европейского агентства по окружающей среде<sup>2</sup>, по гранулометрическому составу на PM<sub>10</sub> приходится 100 % (это означает, что аэродинамический диаметр всех частиц составляет не более 10 мкм), а на PM<sub>2.5</sub> — 90–93 %. Кроме того, методы измерения для судовых двигателей нередко соответствуют установленным Международной организацией по стандартизации (ISO) стандартам 8178, в соответствии с которыми перед проведением измерений производится разбавление отработавших газов, с тем чтобы включить в них летучие или конденсирующиеся фракции PM;

б) методы сокращения выбросов загрязняющих веществ называются «наилучшими имеющимися методами» (НИМ) и подразделяются на первичные методы, действующие непосредственно на источник, когда они связаны с заменой топлива или модификацией/оптимизацией технологии и процесса сжигания, и вторичные методы, представляющие собой технологии очистки отработанных газов;

<sup>1</sup> Grégoire Bongrand and Nadine Allemand, “Background informal technical document on maritime shipping emissions, reduction techniques and determination of their costs”, представлен в качестве неофициального документа для пятьдесят восьмой сессии Рабочей группы по стратегиям и обзору (Женева, 14–17 декабря 2020 года), URL: [https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2020/AIR/WGSR/TFTEI\\_informal\\_doc\\_on\\_shipping\\_emissions-final-december2020.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2020/AIR/WGSR/TFTEI_informal_doc_on_shipping_emissions-final-december2020.pdf).

<sup>2</sup> Европейское агентство по окружающей среде (ЕАОС), *Руководство ЕМЕП/ЕАОС по инвентаризации выбросов 2019 года: техническое руководство по подготовке национальных инвентаризаций выбросов*, отчет № 13/2019 (Люксембург, Издательство Европейского союза, 2019 год).

с) районы ограничения выбросов (РОВ) — это географически ограниченные прибрежные районы, в которых вопросы качества воздуха привлекают к себе особое внимание, поэтому на уровне выбросов для плавающих в этих водах судов установлены жесткие требования. На сегодняшний день созданы РОВ серы и азота, называемые РОВС и РОВА соответственно, в которых действуют требования в отношении предельных значений выбросов морскими судами диоксида серы (SO<sub>2</sub>) и NO<sub>x</sub>. В настоящее время РОВС и РОВА созданы в Балтийском море, Северном море, прибрежных водах Северной Америки и Карибском море. Кроме того, в декабре 2022 года Средиземное море было признано РОВС — решение об этом вступит в силу с 1 мая 2025 года — и в настоящее время обсуждается вопрос об установлении РОВ в Северо-Восточной Атлантике и Канаде. См. также исследование, подготовленное в Международном институте прикладного системного анализа (2018 год)<sup>3</sup>.

### III. История вопроса

5. Международный морской транспорт обслуживает около 80 % объема мировой торговли и представляет собой активный и растущий сектор экономики. Объем международных морских перевозок постоянно растет, и в 2019 году он достиг рекордного уровня (11 мегатонн (Мт)), что почти вдвое больше, чем в 2000 году (5,9 Мт), а в 2021 году почти вышел на докризисный уровень<sup>4</sup>. Наряду с этим, до пандемии COVID-19 также происходил рост показателей пассажироперевозок. Таким образом из года в год, за исключением случаев экономических или санитарных кризисов, происходило увеличение флота судов, а также потребления топлива ими<sup>5</sup>.

6. Вследствие такой интенсивной деятельности сектор морских перевозок является крупным источником выбросов загрязняющих веществ. Выбросы от морского судоходства в основном образуются в результате сжигания топлива в главных и вспомогательных двигателях не только в то время, когда суда находятся в рейсе, но и когда они стоят у причала или маневрируют в портовых акваториях. Кроме того, необходимо учитывать некоторые значительные неорганизованные выбросы летучих органических веществ (в основном ЛОС) во время погрузки–выгрузки наливных грузов, а также выбросы, связанные с использованием хладагентов или кондиционированием воздуха (гидрофторуглеродов (ГФУ)).

7. Хотя по сравнению с другими видами транспорта морской транспорт ввиду низкого уровня выбросов ПГ на тонну перевозимых грузов считается относительно эффективным в плане выбросов ПГ видом транспорта, в 2018 году на долю морского транспорта по-прежнему приходилось около 2,9 % всех антропогенных выбросов углекислого газа (CO<sub>2</sub>). Несмотря на значительное снижение содержания серы в судовом топливе начиная с 2020 года, связанное с переходом на правила Международной морской организации (ИМО), по сравнению с другими различными видами транспорта морские перевозки по-прежнему являются крупнейшим источником SO<sub>2</sub> на один тонно-километр. Хотя по сравнению с крупными грузовиками при морских перевозках выбросы NO<sub>x</sub> на один тонно-километр оказываются несколько ниже, более высоким при таких перевозках является уровень выбросов PM<sub>10</sub>. Кроме того, все больше внимания уделяется проблеме снижения выбросов загрязняющих веществ с судов в гаванях, что обусловлено их близостью к густонаселенным районам и потенциально более высокими показателями выбросов на стоянке, чем во время плавания в открытом море, поскольку двигатели работают с низкой нагрузкой. Действительно, в зависимости от типа судна общие объемы

<sup>3</sup> Janusz Cofala and others, *Final Report: The potential for cost-effective air emission reduction from international shipping through designation of further Emission Control Areas in EU waters with focus on the Mediterranean Sea* (Laxenburg, International Institute for Applied Systems Analysis, 2018). URL: <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/15729/1/RR-18-002.pdf>.

<sup>4</sup> United Nations Conference on Trade and Development, *Review of Maritime Transport: 2022 – Navigating Stormy Waters* (United Nations publication, UNCTAD/RMT/2022 and Corr.1).

<sup>5</sup> International Maritime Organization (IMO), *Fourth IMO Greenhouse Gas Study: 2020* (London, 2020).

выбросов SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и PM, производимых судами в гаванях, оцениваются в диапазоне от нескольких процентов до 20–30 %<sup>6</sup>.

#### IV. Законодательные рамки

8. В целях ограничения негативного воздействия морских перевозок на качество воздуха и здоровье человека ИМО в рамках Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов (Конвенция МАРПОЛ, принята в 1973 году) ввела ряд правил, предусматривающих постепенное ужесточение ограничений. Конвенция МАРПОЛ охватывает загрязнение от судоходства в океанах и некоторых конкретных районах, в частности в Средиземном или Балтийском морях, а также в водах Соединенных Штатов Америки. На протяжении многих лет принимались различные протоколы, а в 1997 году было принято приложение VI к МАРПОЛ «Правила предотвращения загрязнения воздуха с судов», которое вступило в силу в 2005 году.

9. По завершении первоначального этапа перехода на применение приложения VI к МАРПОЛ Комитет ИМО по защите морской среды принял поправки к нему. В 2015 году содержание серы в топливе, начиная с 2020 года, в пределах РОВС было ограничено до 0,1 весового процента, а за пределами РОВС — до 0,5 весового процента. В отношении выбросов NO<sub>x</sub> для дизельных двигателей с номинальной мощностью более 130 кВт, а также для судов, изготовленных после 1 января 2000 года, или двигателей, подвергшихся коренному переоборудованию после той же даты, были введены предельные значения выбросов (ПЗВ). ПЗВ для NO<sub>x</sub> определяются с помощью уровней, которые зависят от номинальной частоты вращения двигателя (до и после 1 января 2011 года). ПЗВ для уровней I и II применяются в зависимости от даты постройки судна или даты коренного переоборудования двигателя (до или после 1 января 2011 года), в то время как уровень III применяется для судов, построенных после 1 января 2016 года и эксплуатируемых в РОВА.

10. Нормативно-правовое регулирование является важнейшим фактором для достижения сокращения выбросов и улучшения качества воздуха. Около 70 % выбросов от судоходства образуются на расстоянии менее 400 км от берега, и такие выбросы могут быть перенесены на сушу на сотни километров. Исследование 2007 года показало, что судоходство вдоль береговых линий Европы, Восточной и Южной Азии является причиной почти 60 000 преждевременных смертей в год<sup>7</sup>. В другом исследовании сообщается, что к 2030 и 2050 годам можно избежать примерно 4000 и 8000 преждевременных смертей соответственно, если в Европейском союзе будут созданы дополнительные РОВС и приняты соответствующие стандарты для уровня III по NO<sub>x</sub>. В одном из последних исследований<sup>8</sup> была проанализирована эффективность глобальной политики в рамках правил ИМО 2020 года по ограничению содержания серы и созданию РОВС и РОВА в Средиземном море, а также было выявлено, что в Средиземноморском регионе можно избежать более 6000 преждевременных смертей, наступающих в результате воздействия PM<sub>2.5</sub>, и ежегодно экономить не менее 17 млрд евро на расходах на здравоохранение, в то время как дополнительные инвестиции для внедрения указанных мер в Средиземном море не превысят 5 млрд евро в год. В результате анализа воздействия, проведенного в Североамериканской РОВ, удалось добиться значительного улучшения качества

<sup>6</sup> Ibid.

<sup>7</sup> James Corbett and others, “Mortality from shipping emissions: a global assessment”, *Environmental Science and Technology*, vol 41, No. 24 (December 2007), pp. 8512–8518.

<sup>8</sup> Laurence Rouil and others, “ECAMED: A technical feasibility study for the implementation of an Emission Control Area (ECA) in the Mediterranean Sea – Synthesis report” (Paris, French National Institute for Industrial Environment and Risks, 2019).

воздуха в пяти портовых городах Канады (Галифакс, Ванкувер, Виктория, Монреаль и Квебек)<sup>9</sup>.

11. Для портовых зон международными нормами не установлено каких-либо специальных правил, хотя нормы ИМО по SO<sub>x</sub> и NO<sub>x</sub> должны соблюдаться в соответствующих случаях, однако региональные или местные регулирующие органы могут устанавливать некоторые дополнительные, даже более строгие правила. В регионе Европейского союза Директивой 2012/33/EU для судов, стоящих у причала, установлен предел содержания серы в топливе, не превышающий 0,1 весового процента<sup>10</sup>. В Калифорнии (Соединенные Штаты Америки) в соответствии с Положением о топливе для океанских судов с 2014 года установлен предел содержания серы в топливе на уровне 0,1 весового процента для главных и вспомогательных двигателей, а также для котельных агрегатов судов, находящихся в пределах 24 морских миль от береговой линии Калифорнии. Кроме того, в шести калифорнийских портах (Лос-Анджелес, Лонг-Бич, Окленд, Сан-Диего, Сан-Франциско и Порт-Уайнмиде) калифорнийским Положением о морских судах, стоящих на причале, предписано использование электроснабжение от береговых источников питания (БИП) или альтернативных методов ограничения выбросов, за счет которых обеспечивается аналогичное сокращение выбросов (не менее 85–90 % по РМ и NO<sub>x</sub>).

## V. Наилучшие имеющиеся методы для судов: первичные методы

### A. Переход на новые виды топлива

#### *Малосернистые виды топлива*

12. Выбросы SO<sub>2</sub> при сжигании топлива прямо пропорциональны содержанию серы в топливе. Начиная с 2020 года был достигнут значительный прогресс благодаря переходу на применение правил из приложения VI к МАРПОЛ, которыми предельный уровень серы снижен с 3,5 до 0,5 весовых процентов. В РОВС предельное содержание серы установлено на уровне 0,1 весового процента. Таким образом, эти правила ограничивают использование тяжелого жидкого топлива (ТЖТ) (без доочистки выхлопных газов), и, кроме того, в ИМО ведутся дискуссии о запрете использования ТЖТ в Арктике. Например, переход с судового топлива с содержанием 0,5 весового процента на судовое дизельное топливо с содержанием 0,1 весового процента приведет к сокращению выбросов SO<sub>2</sub> на 80 %. В настоящее время в некоторых высокодистиллятных видах судового топлива, например в мазуте с ультранизким содержанием серы, содержание серы может достигать до 0,001 весового процента.

13. Помимо сокращения выбросов SO<sub>2</sub>, переход с ТЖТ на дистиллятное топливо с низким содержанием серы благодаря более низкому содержанию золы позволяет достичь сокращения выбросов РМ на 50–90 %<sup>11</sup>. Благодаря переходу на легкое судовое топливо совокупное сокращение выбросов ЧУ на 0–80 % в зависимости от характеристик двигателя и используемого топлива при среднем сокращении, равном около 30 %, является вполне достижимой задачей<sup>12</sup>.

<sup>9</sup> Angelos T. Anastasopoulos and others, “Air quality in Canadian port cities after regulation of low-sulphur marine fuel in the North American Emissions Control Area”, *Science of the Total Environment*, vol. 791 (October 2021).

<sup>10</sup> Директива 2012/33/EU Европейского парламента и Совета от 21 ноября 2012 года о внесении изменений в Директиву Совета 1999/32/ЕС в отношении содержания серы в судовом топливе, *Official Journal of the European Union*, L 327 (2012), pp. 1–13.

<sup>11</sup> Rouil, "ECAMED".

<sup>12</sup> Bryan Comer, “Black carbon and maritime shipping: the long road to regulating a short-lived climate pollutant”, *EM: The Magazine for Environmental Managers* (April 2019); и Daniel Lack and others., *Investigation of Appropriate Control Measures (Abatement Technologies) to Reduce Black Carbon*

14. С точки зрения инвестиций переход на мазуты с более низким содержанием серы сказывается только на эксплуатационных расходах, связанных с ценами на топливо. В конце 2022 года после введения ограничивающих содержание серы правил ИМО 2020 среднемировые цены на бункерном рынке на морской средний дистиллятный газойль и мазут с очень низким содержанием серы (VLSFO), представленный смесью различных остаточных и дистиллятных фракций топлива, составляют около 1126 евро за тонну и 754 евро за тонну (при обменном курсе 0,98 евро/долл. США) соответственно. Для сравнения, средние мировые цены на топливо с более высоким содержанием серы, например на промежуточный мазут 380, составляют около 532 евро за тонну.

#### *Сжиженный природный газ*

15. Переход с судовых мазутов на использование в судовых дизельных двигателях сжиженного природного газа (СПГ) позволяет значительно снизить выбросы SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, РМ и ЧУ. По сравнению с другими нефтепродуктами при сжигании СПГ почти не образуются выбросы SO<sub>2</sub>, а их сокращение достигает 90–100 %. Кроме того, при переходе на СПГ достигается снижение выбросов NO<sub>x</sub> и РМ, которое варьируется в диапазоне от 64–90 % по NO<sub>x</sub> и 60–98 % по РМ в зависимости от характеристик двигателя и используемого топлива<sup>13</sup>. Кроме того, переход на СПГ может обеспечить сокращение выбросов ЧУ на 75–90 %. Тем не менее большинство судовых двигателей, работающих на СПГ, являются двухтопливными (81 % всех установленных или заказанных двигателей на СПГ), поскольку СПГ имеет высокую температуру воспламенения, экологические преимущества, связанные с применением двигателей на СПГ, оказываются более скромными вследствие использования традиционного топлива или дистиллятных фракций топлива.

16. В преддверии введения РОВС, РОВА и ограничений на содержание серы согласно правилам ИМО 2020, а также готовности сектора к декарбонизации интерес к двигателям на СПГ вырос, а глобальная доля поставленных судов с двигателями на СПГ в период с 2010 по 2018 годы увеличилась с 1,4 % до 13,5 %. Однако модернизация двигателей для перехода на СПГ предполагает их дорогостоящее переоборудование, при этом для установки двигателя этого типа требуется дополнительное пространство, составляющее примерно 3–4 % от контейнероёмкости<sup>14</sup>.

17. По сравнению с другими типами судов первоначальные инвестиции в строительство нового судна, работающего на СПГ, на 10–20 % выше, что соответствует примерно 1–4 млн евро и в основном обусловлено размерами емкости для хранения СПГ, строительством системы топливных трубопроводов и необходимостью дополнительных мер безопасности<sup>15</sup>. В зависимости от размера двигателя и от того, создана ли соответствующая установка на вновь построенном судне или после модернизации, капитальные вложения в двигатели на СПГ варьируются от 219 до 1603 евро на кВт номинальной мощности<sup>16</sup>. С точки зрения эксплуатационных расходов по сравнению с двигателями, работающими на

*Emissions from International Shipping, Air Pollution and Energy Efficiency Studies 1* (London, IMO, 2015).

<sup>13</sup> Hulda Winnes and others, *Evaluation, control and Mitigation of the Environmental impacts of shipping Emissions (EMERGE): Deliverable 1.1, "Summary and analysis of available abatement methods for SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> and PM, together with data on emissions, waste streams, costs and applicability"* (n.p., 2021), available at <https://cordis.europa.eu/project/id/874990/results>.

<sup>14</sup> IMO, *Studies on the Feasibility and Use of LNG as a Fuel for Shipping, Air Pollution and Energy Efficiency Studies 3* (London, 2016).

<sup>15</sup> Jørgen Jordal-Jørgensen, *Reducing Air Pollution from Ships: A Cost Benefit Analysis and Feasibility Study on Possible Means for Further Reduction of Emissions – Environmental Project No. 1421 (2012)* (Copenhagen, Danish Ministry of the Environment – Environmental Protection Agency (EPA), 2012).

<sup>16</sup> Stefan Åström and others, "The costs and benefits of a nitrogen emission control area in the Baltic and North Seas", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 59 (March 2018), pp. 223–236.

традиционном мазуте, экономия топлива при использовании СПГ достигает 5–10 %. Кроме того, переход с газойля на СПГ, по оценкам, окажет положительное влияние на инвестиции в топливо, оцениваемые примерно в 8 % при том же объеме выработки энергии.

18. При использовании СПГ возможным существенным недостатком является риск проскока метана, который является важным прекурсором озона, а также увеличивает выбросы парниковых газов. С точки зрения дополнительных выгод в плане сокращения выбросов CO<sub>2</sub> использование СПГ выгодно в сравнении с традиционными мазутами, поскольку содержание углерода в СПГ на 25–28 % ниже; кроме того, данная мера обеспечивает некоторую экономию топлива.

19. Более того, объем выбросов метана, образующихся при сжигании СПГ, аналогичен объему его выбросов при сжигании обычных мазутов. Однако при оценке выбросов метана от судоходства в связи с использованием СПГ к вопросу о выбросах следует принять более широкий подход и учитывать выбросы, образующиеся при производстве и транспортировке СПГ (в рамках оценки жизненного цикла (ОЖЦ)), а также вышеупомянутый проскок метана, соответствующий количеству природного газа, проходящего через двигатель без сгорания. Проскок метана оценивается как относительно небольшой для двигателей, работающих по дизельному циклу, хотя он может стать довольно значительным для двигателей, работающих по циклу Отто и в среднем оценивается примерно в пределах 2–5 % от расхода топлива<sup>17</sup>. Изготовители добились прогресса благодаря использованию принципа сжигания обедненного топлива<sup>18</sup>, совершенствованию конструкции двигателей или применению передовых контрольно-измерительных систем.

#### *Биодизельное топливо и биотопливо*

20. Переход на биодизель или биотопливо в последнее время вызывает все больший интерес как эффективный способ декарбонизации сектора судоходства. Одновременно с этим переход на биотопливо позволяет снизить выбросы ТЧ на 12–70 % по сравнению с традиционными мазутами в зависимости от процентного содержания биотоплива в конечной топливной смеси<sup>19</sup>. Аналогичным образом обеспечивается снижение выбросов ЧУ на 38–75 %<sup>20</sup>. Наконец, при использовании биотоплива по сравнению с мазутом ожидается некоторое снижение выбросов SO<sub>2</sub>. Однако при использовании биотоплива ожидается увеличение выбросов NO<sub>x</sub>.

21. Ожидаются также сопутствующие выгоды в виде снижения выбросов ПГ. Для их полной оценки сокращения необходимо провести ОЖЦ по всей производственно-сбытовой цепочке, поскольку выгоды могут оказаться нивелированы «изменениями в землепользовании», связанными с производством биотоплива. Тем не менее при применении подхода, основанного на ОЖЦ, благодаря использованию биотоплива был достигнут не только значительный прогресс в декарбонизации, но и в снижении выбросов парниковых газов на 70–100 %<sup>21</sup>. С точки зрения ОЖЦ к наиболее устойчивым видам биотоплива относятся биодизельное топливо на основе метиловых эфиров жирных кислот, гидроочищенные растительные масла, дизельное топливо, полученное по методу Фишера-Тропша, диметилвый эфир (ДМЭ) и биометанол.

22. Поскольку биотопливо имеет более низкое энергосодержание, чем мазут, ожидается, что расход топлива при том же количестве вырабатываемой энергии будет на 8–11 % выше, что, соответственно, приведет к увеличению эксплуатационных

<sup>17</sup> International Renewable Energy Agency (IRENA), *A Pathway to Decarbonize the Shipping Sector by 2050*, (Abu Dhabi, 2021).

<sup>18</sup> Топливо, разбавленное избыточным количеством воздуха по сравнению со стехиометрическим соотношением воздуха к топливу, необходимым для сжигания единицы массы топлива.

<sup>19</sup> Francesco Di Natale and Claudia Carotenuto, “Particulate matter in marine diesel engines exhausts: Emissions and control strategies”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 40 (October 2015), pp. 166–191.

<sup>20</sup> Lack, *Investigation of Appropriate Control Measures*.

<sup>21</sup> IRENA, *A Pathway*.

расходов судовладельцев. Кроме того, цены на биотопливо во всем мире превышают цены на обычные мазуты, и в зависимости от вида биотоплива и способа его производства они варьируются от +30 % до почти трехкратного роста. В зависимости от используемого биотоплива могут потребоваться некоторые модификации двигателя (например, для ДМЭ), что увеличивает необходимые общие инвестиции, в то время как другие виды биотоплива уже совместимы с существующими двигателями (например, гидратированные растительные масла или дизельное топливо, полученное по методу Фишера-Тропша). Наконец, возможный рост спроса на биотопливо в будущем может привести к некоторому дефициту производственных мощностей.

#### *Метанол и диметиловый эфир*

23. Метанол и ДМЭ содержат очень мало серы, что позволяет резко сократить выбросы  $\text{SO}_2$ , а также РМ, причем по сравнению с традиционными мазутами их сокращение составило более 90 %<sup>22</sup>. Кроме того, переход на метанол или ДМЭ позволяет добиться снижения выбросов  $\text{NO}_x$  на 30–60 %<sup>23</sup>.

24. В сценарии, по которому топливо из метанола или ДМЭ производится на основе биомассы, например из остатков биомассы или путем газификации черного щелока, можно ожидать значительных сопутствующих выгод в виде сокращения выбросов  $\text{CO}_2$  на уровне 95–100 %. Однако, как и в случае с биотопливом, для оценки потенциальных недостатков и выбросов  $\text{CO}_2$ , связанных с производством метанола из биомассы, следует прибегнуть к ОЖЦ. При производстве топлива из метанола или ДМЭ из ископаемого топлива снижение выбросов  $\text{CO}_2$  будет умеренным в сравнении с выбросами традиционного судового топлива; вместе с тем это по-прежнему обеспечивает сокращение выбросов загрязняющих веществ.

25. Поскольку метанол и ДМЭ имеют более низкое энергосодержание, при переходе на новое топливо ожидается увеличение расхода топлива примерно на 9 %. Кроме того, стоимость топлива из метанола или из произведенного из биомассы ДМЭ превышает стоимость VLSFO в пределах от 36 % до более чем в трехкратном размере, при этом в случае «зеленого» электронного метанола она суммируется со стоимостью энергии биомассы, используемой для хранения улавливаемого углерода; таким образом стоимость этого вида топлива, как ожидается, окажется в 3,4–6,8 раза выше. Однако, согласно ожиданиям, к 2050 году стоимость возобновляемого электронного метанола значительно снизится и по сравнению с текущей ценой на VLSFO может упасть примерно в 2,5–3,4 раза. Вместе с тем с использованием метанола связаны и другие эксплуатационные расходы, обусловленные требованиями безопасности, касающимися подачи азота (подушка инертного газа в емкости с метанолом), а также с расходами на обучение персонала управлению повышенными рисками. Кроме того, затраты на техническое обслуживание оцениваются примерно в 3–4 евро за каждый выработанный МВтч. Наконец, стоимость новых двигателей, способных работать на метаноле, а также существующих модернизированных двигателей выше стоимости обычных двигателей, при этом дополнительные инвестиции оцениваются в 150–225 евро на кВт для новых двигателей и 225–450 евро на кВт для модернизированных двигателей<sup>24</sup>.

#### *Водород*

26. Водород можно использовать в топливных элементах, в двухтопливных двигателях или для замены ТЖТ в дизельных двигателях. Что касается загрязнителей атмосферы, то при использовании топливных элементов электрохимическая реакция между водородом и кислородом приводит только к выделению тепла и воды при отсутствии каких-либо выбросов. При сжигании  $\text{H}_2$  не образуется  $\text{SO}_2$ , РМ или СО, но

<sup>22</sup> Joanne Ellis and Martin Svanberg, “Expected benefits, strategies, and implementation of methanol as a marine fuel for the smaller vessel fleet. SUMMETH - Sustainable Marine Methanol Deliverable D5.1”, Final Report No. D5.1 (n.p., 2018).

<sup>23</sup> DNV GL, “Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility”, Report No. 2015-1197, rev. 2 (n.p., 2016).

<sup>24</sup> Winnes, *Evaluation, control and Mitigation*.

присутствуют выбросы  $\text{NO}_x$ , которые могут быть даже выше, чем выбросы  $\text{NO}_x$  при сжигании традиционных видов топлива, поскольку температура сгорания очень высока. Кроме того, если водород производится путем электролиза воды, а электричество вырабатывается с помощью возобновляемых источников энергии или на атомных электростанциях, то в результате получается топливо, не содержащее  $\text{CO}_2$ .

27. Однако использование водорода имеет и недостатки, в том числе необходимость в значительном пространстве. Фактически, по сравнению с ТЖТ использование водорода требует в пять раз большего объема емкостей, если он находится в жидком состоянии, и в 10–15 раз большего объема при его газообразном состоянии<sup>25</sup>, поскольку из-за высокой воспламеняемости водорода ( $\text{H}_2$ ) необходимы специальные решения для хранения водорода и соблюдения процедур безопасности. Кроме того, говоря о готовности технологии, следует отметить, что водородные топливные элементы для судоходства все еще находятся на стадии разработки, а текущие технические решения больше подходят для малых и средних судов, например для паромов или пассажирских судов. Наконец, при увеличении спроса в различных секторах могут возникнуть некоторые ограничения в доступности водорода, производимого на основе возобновляемой электроэнергии, с учетом того, что в 2019 году производство «зеленого» водорода составляло всего 4 % от общего объема производства<sup>26</sup>; например, только для обеспечения сектора морского судоходства объем производства  $\text{H}_2$  потребуется увеличить в три раза.

28. Наконец, имеется лишь ограниченная информация об оценке необходимых дополнительных инвестиций. Стоимость оборудования для электролиза оценивается в 650–1000 долл. США на кВт (606–933 евро на кВт по обменному курсу на середину 2022 года). Стоимость производства «зеленого»  $\text{H}_2$  в 2020 году колебалась в пределах от 126 до 144 евро за МВтч с учетом средней цены на электроэнергию в размере 60 евро за МВтч<sup>27</sup>. Однако с развитием производства возобновляемой энергии и ростом спроса ожидается, что к 2030 году «зеленый»  $\text{H}_2$  по сравнению с СПГ и VLSFO достигнет конкурентоспособности по цене.

#### *Аммиак*

29. Аммиак ( $\text{NH}_3$ ) не содержит углерода и серы, поэтому его использование в качестве топлива не приводит к образованию выбросов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  и РМ. Если при использовании в топливных элементах выбросы  $\text{NO}_x$  также равны нулю, то при использовании  $\text{H}_2$  в двигателях внутреннего сгорания они в целом сопоставимы с выбросами от традиционных видов топлива<sup>28</sup>. Аммиак может представлять большой интерес для декарбонизации, но в этом случае необходимо учитывать способ его производства.

30. Главными препятствиями для использования аммиака в качестве топлива являются его токсичность и риск прорыва, поэтому, несмотря на многочисленные текущие пилотные и исследовательские проекты, в эксплуатацию еще не введено ни одного судна, работающего на аммиаке. Кроме того, по сравнению с водородом аммиак имеет более высокую температуру сжижения ( $-33\text{ }^\circ\text{C}$ ), а также более высокую плотность жидкости, что упрощает и удешевляет его хранение. Из этого следует, что получаемый объем топлива в 1,6–2,3 раза больше по сравнению с обычными мазутами. Более того, инфраструктура для хранения и транспортировки аммиака уже существует во всем мире.

31. В настоящее время себестоимость производства «зеленого» аммиака составляет 133–205 евро за МВтч, хотя ожидается, что к 2050 году она значительно снизится и составит 62–107 евро за МВтч, вследствие чего он окажется дешевле VLSFO<sup>29</sup>. Также

<sup>25</sup> Marketa Pape, “Decarbonizing maritime transport: the EU perspective”, Briefing (European Parliamentary Research Service, 2020).

<sup>26</sup> DNV GL, “Comparison of alternative marine fuels”, Report No. 2019-0567, rev. 4 (n.p., 2019).

<sup>27</sup> IRENA, *A Pathway*.

<sup>28</sup> Niels de Vries, “Safe and effective application of ammonia as a marine fuel”, thesis, Delft University of Technology, 2019.

<sup>29</sup> Ibid.

следует учесть стоимость бункеровочных установок, поскольку существующая бункеровочная инфраструктура не подходит для хранения аммиака.

32. Наконец, следует отметить, что в ИМО постоянно обсуждается вопрос о запрете использования ТЖТ в Арктике для существенного снижения выбросов черного углерода.

33. В таблице 1 ниже приведены данные об ожидаемом сокращении выбросов, увеличении расхода топлива и соответствующих затратах на реализацию некоторых вариантов перехода на альтернативные виды топлива.

Таблица 1

**Снижение выбросов в зависимости от способа перехода на другое топливо**

(в процентах)

Первичные методы перехода на альтернативные виды топлива	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM	ЧУ	Увеличение расхода топлива	Инвестиционные затраты (евро/кВт)	Затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание (евро)
Переход на топливо с низким содержанием серы	до 99	–	50–90	0–80 (медиа-на: 30)	–	–	222–594 за т топлива
Переход на СПГ	90–100	64–90	60–98	75–90	–5–10	219–1 603	–43 за т топлива (+ экономия топлива)
Переход на водотопливные эмульсии	–	1–60	20–90	0–85	+0–2	11–44	33 000–271 000 в год
Переход на биодизельное топливо и биотопливо	–	–	12–70	38–75	+8–11	–	–
Переход на метанол	100	30–60	90–99	97	+9	150–450	10–15 за МВтч на топливо и 3–4 за МВтч на другие эксплуатационные и ремонтные расходы

**В. Модификация сжигания***Водотопливные эмульсии*

34. Использование стабильного раствора воды в топливе (WiFE) или впрыск воды непосредственно в камеру сгорания снижает температуру сгорания, и, следовательно, образование термических NO<sub>x</sub> также снижается на 1–60 % в зависимости от содержания воды<sup>30</sup>. Кроме того, при использовании WiFE можно добиться сокращения выбросов PM на 20–90 %, а также сокращения выбросов ЧУ до 85 %<sup>31</sup>.

<sup>30</sup> Incentive Partners and Litehauz, *Economic Impact Assessment of a NO<sub>x</sub> Emission Control Area in the North Sea: Environmental Project No. 142. (2012)* (Copenhagen, Danish Ministry of the Environment – EPA, 2012).

<sup>31</sup> James J. Corbett, James J. Winebrake and Erin H. Green, “An assessment of technologies for reducing regional short-lived climate forcers emission by ships with implications for Arctic shipping”, *Carbon Management*, vol. 1, No. 2 (2010), pp. 207–225.

35. Использование WiFE, как правило, увеличивает потребление мазута, хотя это увеличение незначительно, когда содержание воды не превышает 30 %, и оценивается примерно в 1–2 % для более высоких значений содержания воды. Использование WiFE в существующих судовых двигателях предполагает глубокий анализ возможностей впрыска топлива при том же уровне выходной мощности. Кроме того, следует обратить особое внимание на риск образования серной кислоты, поскольку она может привести к нежелательным последствиям в виде коррозии двигателя.

36. Капитальные вложения, связанные с использованием WiFE, составляют примерно 11–44 евро на кВт, в зависимости от того, является ли двигатель модернизированным или новым, а также от его размера<sup>32</sup>. Годовые затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание оцениваются примерно в 9–9,5 евро на кВт в год<sup>33</sup>.

#### *Метод применения золотниковых клапанов*

37. Модификация процесса сжигания путем установки золотниковых клапанов вместо традиционных топливных клапанов обеспечивает более полное сгорание при более низких температурных пиках пламени. При более низких температурах сгорания уменьшается образование термических NO<sub>x</sub>, и снижение их выбросов может достигать до 20 %. Наблюдаются и другие сопутствующие выгоды по выбросам РМ и ЧУ, при этом их возможное сокращение составляет 10–50 % (в среднем 25 %) для РМ и 25–50 % для ЧУ<sup>34</sup>. Однако установка золотниковых клапанов предполагает увеличение расхода топлива на 2 %, что влечет за собой дополнительные выбросы CO<sub>2</sub> и SO<sub>2</sub>, а также дополнительные расходы.

38. Инвестиционные затраты на установку золотниковых клапанов относительно невелики, при этом стоимость каждого клапана оценивается примерно в 230 евро, что дополнительно увеличивает затраты на выработанную электроэнергию на 0,33–1,43 евро на кВт/год<sup>35</sup>. Более того, в отличие от других методов сокращения выбросов с золотниками не связаны дополнительные расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание.

39. В таблице 2 приведены данные о снижении выбросов в зависимости от способа модификации сжигания топлива.

Таблица 2

#### **Снижение выбросов в зависимости от способа модификации сжигания топлива** (в процентах)

<i>Первичный метод</i>	<i>SO<sub>2</sub></i>	<i>NO<sub>x</sub></i>	<i>PM</i>	<i>ЧУ</i>	<i>Увеличение расхода топлива</i>	<i>Инвестиционные затраты (евро/кВт)</i>	<i>Затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание (евро/кВт)</i>
Водотопливные эмульсии	Пропорционально увеличению расхода топлива	1–60	20–90	0–85	0–2	11–44	9–10
Золотниковые клапаны		0–20	10–50	10–50	+2	0,3–1,4	Отсутствует

<sup>32</sup> Lack, *Investigation of Appropriate Control Measures*.

<sup>33</sup> Jordal-Jørgensen, *Reducing Air Pollution from Ships*.

<sup>34</sup> Bryan Comer and others, *Black carbon emissions and fuel use in global shipping: 2015* (n.p., International Council on Clean Transportation, 2017).

<sup>35</sup> Corbett, “An assessment of technologies”.

## С. Изменение режима работы гребной установки

### *Режим работы «на малых парах»*

40. Режим работы «на малых парах» предполагает снижение крейсерской скорости для экономии топлива, поскольку расход топлива примерно пропорционален скорости судна в третьей степени. Так, например, снижение крейсерской скорости с 23 до 18 узлов (–21,7 %) может обеспечить снижение расхода топлива на 50 %, в то время как снижение скорости на 10 % и 20 %, как сообщается, приводит к экономии топлива на 15–19 % и 36–39 % соответственно. Выбросы SO<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> прямо пропорциональны расходу топлива, поэтому за счет снижения крейсерской скорости можно добиться значительного сокращения выбросов. Одновременно при снижении скорости примерно на 50 % экономия топлива во время крейсерского хода позволяет снизить выбросы NO<sub>x</sub> и РМ на 64 % и 69 % соответственно<sup>36</sup>. Кроме того, за счет снижения выходной мощности двигателя (т. е. при его регулировке, позволяющей снизить его выходную мощность по сравнению с нормальными условиями эксплуатации) достижимо сокращение выбросов ЧУ до 30 %. Однако при более низких значениях нагрузки двигателя выбросы ЧУ могут увеличиваться даже без снижения выходной мощности. В то же время более низкие значения нагрузки на двигатель негативно сказываются на выбросах окиси углерода (СО).

41. С точки зрения затрат главным следствием использования режима «на малых парах» является увеличение сроков доставки грузов, что необходимо учитывать судовладельцам. Поэтому необходимость в дополнительных судах для компенсации увеличения сроков доставки не только сведет на нет экологические преимущества, но и негативно скажется на экологической результативности. Как показывает одно исследование<sup>37</sup>, применение метода движения «на малых парах» в территориальных водах Европейского союза (12 морских миль от береговой линии) или в исключительной экономической зоне (12–200 морских миль от береговой линии) в 2030 году может привести к экономии топлива до 410 млн евро и 3447 млн евро соответственно (без учета дополнительного технического обслуживания или изменения размера флота судов). В другом исследовании<sup>38</sup> говорится о том, что для категории судов с грузоподъемностью 4000 20-футовых контейнеров (в эквиваленте)<sup>39</sup> снижение скорости с 23 узлов до 17 узлов уменьшает долю бункерного топлива в общих эксплуатационных расходах с 68 % до 51 % при работе на мазуте (жидкое бункерное топливо средней вязкости 380) и с 77 % до 62 % при работе на судовом газойле. Наконец, установка в двигателях систем электронного регулирования потребует дополнительных инвестиций, которые для двигателя мощностью 9,5 МВт оцениваются примерно в размере 71 евро на кВт.

### *Суда с питанием от аккумуляторов (электрические или гибридные)*

42. Все больший интерес вызывают суда на аккумуляторных батареях, предназначенные для морских перевозок на короткие расстояния с частыми остановками. Например, после 2015 года, Норвегия осуществила электрификацию своих паромов. В свете процесса декарбонизации сектора гибридные/электрические суда представляют большой интерес, при этом для гибридных судов снижение выбросов CO<sub>2</sub> может составить 10–40 %, в то время как для полностью электрических судов возможно полное исключение выбросов CO<sub>2</sub> в случае выработки электроэнергии из возобновляемых или ядерных источников. Кроме того, отработавшие газы будут образовываться не в судовых двигателях, а на теплоэлектростанции, где установлено гораздо более эффективное оборудование для

<sup>36</sup> J. Wayne Miller and others, *In-use Emissions Test Program at VSR Speeds for Oceangoing Container Ship: Report* (n.p., California Air Resources Board, 2012).

<sup>37</sup> Paul Campling, Liliane Janssen and Kris Vanherle, *Specific Evaluation of Emissions from Shipping Including Assessment for the Establishment of Possible New Emission Control Areas in European Seas*, (n.p., Flemish Institute for Technological Research NV, 2012).

<sup>38</sup> C. Chrysopoulos and M. Nijdam, “The effect of the revised 1999/32/EC directive on the liner service design in container shipping market” (n.p., 2012).

<sup>39</sup> Единица, используемая для определения грузоподъемности контейнеровозов.

борьбы с загрязнителями воздуха. В качестве другого примера можно привести Канаду, где в Британской Колумбии эксплуатируется несколько гибридных судов (аккумуляторы-СПГ) (в частности, паромов).

43. Однако следует учитывать, что, поскольку срок службы аккумуляторов составляет около 8–10 лет, это оборудование является значительно более дорогостоящим вариантом в сравнении с дизельными двигателями. Кроме того, с точки зрения выбросов CO<sub>2</sub> на начальном этапе для оценки выбросов CO<sub>2</sub> было бы полезно рассмотреть этот вопрос с точки зрения более широкой перспективы с привлечением ОЖЦ по аналогии с практикой, применимой к производству электроэнергии или аккумуляторных батарей.

#### *Помощь ветровой тяги*

44. Первыми прототипами, находящимися на стадии испытаний, являются роторные паруса, паруса-крылья и буксировочные змеи. В зависимости от применяемой технологии, типа судна и метеорологических условий можно ожидать экономии топлива до 50 %, хотя в среднегодовом выражении экономия на испытанных судах составляет около 8–10 %<sup>40</sup>. В одном конкретном случае было заявлено, что если применить технологию роторного паруса ко всему мировому танкерному флоту, то выбросы CO<sub>2</sub> могут сократиться более чем на 30 млн т, что составляет около 3 % от общего объема выбросов парниковых газов при морских перевозках.

45. Вместе с тем необходимо учитывать некоторые ограничения ветровой тяги, связанные, например, с планировкой палубы, процессами загрузки и увеличением крена судна. Кроме того, являющиеся наиболее распространенными решениями использования ветровой тяги воздушные змеи и роторные паруса, по оценкам, более эффективны при более низких скоростных режимах (например, ниже 16 узлов для воздушных змеев)<sup>41</sup>.

46. В таблице 3 представлены данные о снижении выбросов за счет изменения режима работы силовой установки.

Таблица 3

#### **Снижение выбросов за счет изменения режима работы силовой установки**

(в процентах)

<i>Первичный метод</i>	<i>SO<sub>2</sub></i>	<i>NO<sub>x</sub></i>	<i>PM</i>	<i>ЧУ</i>	<i>Экономия топлива</i>
Движения «на малых парах»	Пропорционально экономии топлива для всех методов	0–64	0–69	0–30 при снижении нагрузки на двигатель, возможно увеличение при малых нагрузках	0–50
Суда с питанием от аккумуляторов (электрические или гибридные)		Отсутствие выбросов при полной электрификации			100, если электрический
Помощь ветровой тяги		Информация отсутствует, но ожидается снижение за счет экономии топлива			0–50 (по факту 8–10)

<sup>40</sup> Jon Excell, “The rise of the wind ships”, The Engineer, 19 February 2020. URL: [www.theengineer.co.uk/content/in-depth/the-rise-of-the-wind-ships/](http://www.theengineer.co.uk/content/in-depth/the-rise-of-the-wind-ships/).

<sup>41</sup> Päiva Aakko-Saksa and Kati Lehtoranta, *Ship Emissions in the Future: Review*, Research Report No. VTT-R-00335-19 (n.p., VTT Technical Research Centre of Finland, 2019).

## VI. Наилучшие имеющиеся методы для судов: вторичные методы

### Мокрые скрубберы

47. Принцип работы мокрых скрубберов основан на пропускании потока отработавших газов через жидкий щелочной раствор (например, морскую воду или химический раствор), который посредством химических реакций нейтрализует  $SO_x$ , присутствующий в отработавших газах. Существует три типа мокрых скрубберов:

а) скрубберы открытого контура: морская вода закачивается и используется в качестве щелочного раствора для нейтрализации соединений  $SO_x$  с образованием серной кислоты. При использовании 3,5 весовых процентов мазута необходимый расход промывочной воды находится в пределах 45–60 м<sup>3</sup>/МВтч<sup>42</sup>. Затем использованная вода после надлежащей очистки сбрасывается в море;

б) скрубберы замкнутого контура: в этой системе пресная вода, смешанная с добавлением щелочных химикатов (например, гидроксида натрия), используется для реакции с  $SO_x$  и образования сульфата натрия. Затем сточные воды проходят через резервуар для очистки, после чего их вновь подают в скруббер. Необходимый расход воды ниже, чем в случае систем с открытым контуром, и составляет около 20–30 м<sup>3</sup>/МВтч, а на работу системы водоснабжения приходится около 0,5–1 % мощности двигателя<sup>43</sup>. Такая конфигурация особенно полезна для судов, курсирующих в морских водах с низкой щелочностью или в тех районах, где сброс воды запрещен;

в) гибридные скрубберы: технология сочетает в себе скрубберы с открытым и закрытым контуром и обеспечивает судам гибкость и адаптируемость к условиям/ограничениям морей, в которых они плавают.

48. Установка мокрых скрубберов позволяет снизить судовые выбросы до 98 % по  $SO_2$ , до 90 % по РМ при среднем уровне их сокращения около 30 % и до 70 % по ЧУ при среднем наблюдаемом сокращении его выбросов в диапазоне 16–37 % в зависимости от используемого топлива, типа двигателя и условий эксплуатации, включая условия эксплуатации скруббера (т. е. размеры установки, время пребывания в скруббере отработавших газов и расход реагентов)<sup>44</sup>. Внедрение скрубберов предполагает увеличение расхода топлива на 0,5–3 % в зависимости от ожидаемого уровня выбросов отработавших газов, марки используемого топлива, типа и конструкции скруббера, а также характеристик двигателя, что косвенным образом приводит к некоторому увеличению выбросов  $CO_2$ . Международный совет по экологически чистому транспорту опубликовал доклад на эту тему в 2020 году<sup>45</sup>.

49. Преимуществом скрубберов является их совместимость с системами рекуперации отходящего тепла или другими системами очистки отработавших газов, например с рециркуляцией отработавших газов (РОГ), селективным каталитическим восстановлением (СКВ), расположенными в контуре перед скруббером, а также с технологиями удаления РМ. Вместе с тем установка скруббера связана с некоторыми ограничениями, и, в частности, это касается необходимого пространства, поскольку объем установки может варьироваться от около 65 м<sup>3</sup> для небольших двигателей до более чем 800 м<sup>3</sup> для крупных установок<sup>46</sup>. В частности, в случае систем с замкнутым

<sup>42</sup> Lloyd's Register, *Understanding Exhaust Gas Treatment Systems. Guidance for Shipowners and Operators* (London, 2012).

<sup>43</sup> Ibid.

<sup>44</sup> Winnes, *Evaluation, control and Mitigation*; и MAN Diesel and Turbo, *MAN B&W Two-stroke Marine Engines - Emission Project Guide for Marpol Annex VI Regulations* (n.p., 2018).

<sup>45</sup> Bryan Comer, Elise Georgeff and Liudmila Osipova, *Air Emissions and Water Pollution Discharges from Ships with Scrubbers: ICCT Consulting Report* (Washington D.C., International Council on Clean Transportation, 2020).

<sup>46</sup> MAN Diesel and Turbo, "MAN B&W".

контуром требуется дополнительное пространство для блоков очистки и хранения сточных вод, а также для оборудования емкости для хранения реагентов.

50. Внедрение скрубберов сопряжено с большими затратами: капитальные вложения составляют от 100 до 433 евро на кВт в зависимости от типа скруббера, выбора в пользу новой установки или модернизации. В частности, стоимость скрубберов с открытым контуром составляет 100–216 евро на кВт, а стоимость скрубберов с закрытым контуром — 200–433 евро на кВт в зависимости от размера двигателя и конструкции скруббера<sup>47</sup>. В пилотных проектах гибридные скрубберы встречаются реже, но в одном из описанных случаев капитальные затраты на такую установку составили около 225 евро на кВт при строительстве нового судна и 338 евро на кВт при модернизации<sup>48</sup>. Кроме того, если в случае скрубберов с открытым контуром учитываются только эксплуатационные затраты на повышенное потребление топлива, то в случае систем с замкнутым контуром наряду с увеличением расхода топлива, необходимо также рассчитывать затраты на гидроксид натрия и воду, а также на утилизацию шлама, что в сумме составляет около 6–11 евро на МВтч<sup>49</sup>. Наконец, затраты на техническое обслуживание оцениваются примерно в пределах 0,6–0,9 евро за МВтч для скрубберов с открытым контуром и 0,3–1,2 евро за МВтч для установок с закрытым контуром<sup>50</sup>. В целом, учитывая весь срок службы скруббера, ожидается, что затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание для обоих типов скрубберов составят около 2–3 % от общих инвестиционных затрат.

51. В период эксплуатации скрубберов, в зависимости от используемого топлива, степени очистки воды и добавляемых химикатов, в сточные воды могут попадать такие опасные вещества, как сера, ПАУ, тяжелые металлы и нитраты<sup>51</sup>. Кроме того, сточные воды скрубберов характеризуются низкими значениями pH и высокими температурами. Поэтому к сбросу сточных вод в морские воды применяются специальные правила для предотвращения их негативного воздействия, например подкисление, а также введены соответствующие требования по значениям pH и концентрации ПАУ, нитратов и частиц. Поэтому в ряде портов и отдельных районах мира (например, в Китае, Сингапуре, Бельгии, Ирландии, Калифорнии, Суэцком канале, Панамском канале, немецкой части реки Рейн, в Канаде в портах Ванкувер, Принс-Руперт и Септ-Ольс) введены ограничения или запрет на сброс сточных вод, т. е. применение скрубберов открытого контура, либо установлен запрет на использование гибридных скрубберов в режиме замкнутого контура.

#### *Сухие скрубберы*

52. Сухие скрубберы также могут быть адаптированы к использованию на морских двигателях, что позволяет реализовать их потенциал в снижении выбросов SO<sub>2</sub>. Принцип работы аналогичен принципу работы мокрых скрубберов, но вместо впрыска жидкого раствора в скрубберную установку непосредственно в канал отработавших газов для реакции с соединениями SO<sub>x</sub> и образования твердого сульфата или карбоната натрия могут вводиться порошкообразный бикарбонат натрия или гранулы гидроксида кальция. Затем отработавшие газы проходят через оборудование для удаления РМ, например через рукавный фильтр, для удаления продуктов реакции, а также образовавшихся в результате горения сажи, ЧУ и тяжелых металлов, которые в конечном итоге сбрасываются в соответствующую емкость.

<sup>47</sup> Peter Bosch and others, “Cost Benefit Analysis to support the impact assessment accompanying the revision of Directive 1999/32/EC on the sulfur content of certain liquid fuels”, AEA/ED45756/Issue 3 (n.p., AEA, 2009); и Åström and others, “The costs and benefits of a nitrogen emission control area”.

<sup>48</sup> Cofala, *Final Report*.

<sup>49</sup> Eelco Den Boer and Maarten't Hoen, *Scrubbers: An Economic and Ecological Assessment* (Delft, CE Delft, 2015).

<sup>50</sup> Winnes, *Evaluation, control and Mitigation*.

<sup>51</sup> Christer Ågren, “Environmental impacts of ship scrubbers”, *Acid News*, No. 3 (October 2019), pp. 17–18.

53. Сухие скрубберы позволяют достичь снижения выбросов  $\text{SO}_x$  более чем на 99 %, а также аналогичного снижения выбросов РМ (как по концентрации, так и по массе)<sup>52</sup>. Преимущество сухих скрубберов в сравнении со скрубберами открытого контура заключается в отсутствии необходимости сбрасывания сточных вод в море, при этом по сравнению с установками закрытого контура образуется меньший объем остатков. Кроме того, потребление энергии, необходимой для работы, находится на довольно низком уровне, при этом отсутствует риск коррозии. По сравнению с мокрыми скрубберами преимущество рукавных фильтров с впрыском бикарбоната натрия заключается в низком потреблении электроэнергии, а увеличение расхода топлива оценивается в пределах примерно 0,2–0,3 %. Более того, по сравнению с дизельными сажевыми фильтрами (ДСФ) перепад давления в рукавных фильтрах существенно не увеличивается. Для скрубберов замкнутого контура для хранения реактивов и остатков необходимо дополнительное пространство. Такая система совместима с СКВ или РОГ. Информация по экономическим аспектам для данной технологии отсутствует; она была опробована в нескольких пилотных проектах, однако для повышения ее надежности применительно к судоходству и оценки соответствующих инвестиций требуется провести дополнительную работу.

#### *Рециркуляция отработавших газов*

54. Системы рециркуляции отработавших газов (РОГ) служат для возвращения отработавших газов двигателя обратно в камеру сгорания после их очистки для снижения температуры и давления при сгорании и недопущения образования термических  $\text{NO}_x$ . Температура отработавших газов и содержание кислорода в них снижается при их пропускании через охладитель, при этом увеличивается их теплоемкость, а расположенный ниже по потоку сажевый фильтр (или скруббер) удаляет остатки сгорания и предотвращает коррозию или засорение двигателя. Для работы системы РОГ необходима электронная система регулирования.

55. Эффективность удаления  $\text{NO}_x$  системой РОГ зависит от скорости рециркуляции: так, в дизельных двигателях наблюдалось снижение выбросов на 25–80 %<sup>53</sup>. В некоторых современных системах РОГ, применяемых для двухтактных двигателей, обеспечение соблюдения ограничений по  $\text{NO}_x$  для уровня III МАРПОЛ может быть достигнуто при 40-процентном уровне рециркуляции. Однако в среднескоростных двигателях необходимо продемонстрировать соблюдение установленных ограничений, при этом основными проблемами являются высокие концентрации  $\text{SO}_2$  и РМ в дымовых газах. Внедрение установок РОГ приводит к снижению мощности двигателя, а также к увеличению расхода топлива до +4 %, что влечет за собой увеличение выбросов  $\text{CO}_2$ . Более того, если система РОГ не будет отлажена должным образом, ее применение может привести даже к увеличению выбросов  $\text{CO}$  и РМ.

56. С точки зрения оценки затрат инвестиции, необходимые для РОГ, вполне разумны, а наиболее значительная часть инвестиционных затрат приходится на стоимость аппаратуры для контроля за рециркуляционным потоком. В целом, капитальные вложения оцениваются в 36–60 евро на кВт в зависимости от желаемой скорости рециркуляции и уровня снижения выбросов  $\text{NO}_x$ <sup>54</sup>. Эксплуатационные расходы колеблются в диапазоне от 17 до 25 евро на кВт, а с учетом затрат на техническое обслуживание общие расходы можно оценить примерно в 1–3 евро за МВтч<sup>55</sup>. Внедрение РОГ подразумевает увеличение расхода топлива в размере 1–2 %,

<sup>52</sup> IMO, “Evaluation and harmonization of rules and guidance on the discharge of liquid effluents from EGCS into waters, including conditions and areas, document No. MEPC 75/INF.13.

<sup>53</sup> Giannis Papadimitriou and others, *Best Available Techniques for Mobile Sources in Support of a Guidance Document to the Gothenburg Protocol of the LRTAP Convention* (n.p., European Commission, 2015).

<sup>54</sup> Rasmus Parsmo and others,  *$\text{NO}_x$  Abatement in the Baltic Sea: An Evaluation of Different Policy Instruments*, No. C 247 (Stockholm, IVL Swedish Environmental Research Institute, 2017).

<sup>55</sup> Ibid.

которое может быть компенсировано некоторой экономией топлива при переводе двигателя с уровня II на уровень I.

#### *Селективное каталитическое восстановление*

57. Селективное каталитическое восстановление (СКВ) является надежной и хорошо отработанной технологией, применяемой в промышленном секторе и морских перевозках, которая позволяет значительно сократить выбросы  $\text{NO}_x$  до уровня III. Принцип работы СКВ состоит в том, чтобы вызвать химическую реакцию в присутствии катализатора путем введения азотвосстанавливающих соединений, например водного раствора аммиака ( $\text{NH}_3$ ) или мочевины в канал для отвода отработавшего газа; на выходе в качестве продуктов реакции с присутствующими в отработавшем газе  $\text{NO}_x$  получают азот ( $\text{N}_2$ ) и воду ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Наиболее распространенным восстановителем является 40-процентный водный раствор мочевины. В зависимости от условий работы двигателя внедрение установок ИКВ позволяет добиться снижения выбросов  $\text{NO}_x$  на 70–95 %<sup>56</sup>. При использовании катализатора окисления для окисления остаточного  $\text{NH}_3$  можно также получить сопутствующие выгоды, связанные с сокращением выбросов ЛОС, СО и РМ, которые оцениваются в 50–90 %, 50–90 % и 10–40 % соответственно<sup>57</sup>.

58. Однако использование технологии ИКВ предполагает увеличение расхода топлива примерно на 2 %, что очевидным образом отрицательно сказывается на выбросах судов. Кроме того, для подачи восстановителя, сжатого воздуха и тепла требуется дополнительная мощность около 5 кВт на МВт мощности двигателя. С точки зрения выбросов применение ИКВ сопряжено с риском утечки аммиака, который увеличивается по мере износа ИКВ. Однако для минимизации возрастания такого риска могут применяться такие методы регулирования, как оптимизация калибровки, подбор размеров катализатора или введение катализатора<sup>58</sup>. За пределами РОВА оснащенные системой ИКВ двигатели уровня I проявляют себя на 4 % эффективнее двигателей уровня II; с целью экономии топлива их можно использовать для соблюдения требований по выбросам, соответствующим уровню II<sup>59</sup>.

59. При установке систем СКВ на морских судах могут возникнуть некоторые специфические ограничения. Системы СКВ могут использоваться с любым судовым мазутом, хотя каталитическая реакция более эффективна для топлива с более низким содержанием  $\text{SO}_2$  в отработавших газах и при более высоких температурах, при этом технология СКВ неэффективна с точки зрения снижения  $\text{NO}_x$  до требуемых уровней при низких температурах (ниже 250°C)<sup>60</sup>. Кроме того, во избежание образования бисульфата аммония или серной кислоты необходимо соблюдать особую осторожность; такая вероятность особенно высока при сжигании топлива с высоким содержанием серы при низких температурах. Вместе с тем для недопущения повреждения катализатора, окисления  $\text{NH}_3$  и увеличения выхода  $\text{SO}_3$  температура отработавших газов должна быть достаточно низкой. По этой причине крайне важную роль играет оборудование для контроля температуры отработавших газов, которое нередко устанавливается в блоке СКВ. Размер установки СКВ зависит от мощности двигателя, расхода газа, используемого восстановителя (например, для аммиачных растворов требуется смеситель меньшего объема, чем для мочевины, но их труднее и опаснее хранить), а также от срока службы катализатора (т. е. катализаторы большего размера имеют более длительный срок службы). Для обеспечения достаточной эффективности и длительного срока службы СКВ необходимы периодическое техническое обслуживание и контроль технического состояния.

<sup>56</sup> Winnes, *Evaluation, control and Mitigation*.

<sup>57</sup> Ibid.

<sup>58</sup> Incentive Partners and Litehauz, *Economic Impact Assessment*.

<sup>59</sup> Lloyd's Register, *Understanding Exhaust Gas Treatment Systems*.

<sup>60</sup> IMO, "Assessment of Low-load Performance of IMO NOX Tier III Technologies", document No. MEPC 80/5/1.

60. Для оптимизации эффективности теплообмена технологии СКВ могут быть легко объединены с такими технологиями удаления РМ, как ДСФ и/или скрубберы, расположенными ниже по потоку от СКВ.

61. Капитальные вложения для внедрения установок СКВ варьируются в пределах от 19 до 100 евро на кВт<sup>61</sup> в зависимости от размера двигателя (меньшие двигатели могут иметь более высокую стоимость на кВт), новизны изготовления или модернизации, а также типа двигателя (двух- или четырехтактный). Расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание СКВ варьируются от 3 до 10 евро на МВтч, при этом для двухтактных двигателей зафиксированы более высокие средние расходы по сравнению с четырехтактными<sup>62</sup>. Эксплуатационные расходы в основном касаются замены катализатора, потребления мочевины или аммиака и соответствующих затрат на рабочую силу. Наибольший вклад в расходы вносит потребление азотных реагентов; так, например, затраты на мочевины оцениваются в пределах 1–5 евро за МВтч<sup>63</sup>. Наконец, расходы на техническое обслуживание составляют около 1,2 % от инвестиций в годовом исчислении.

#### *Дизельные сажевые фильтры*

62. Дизельные сажевые фильтры (ДСФ) состоят из пористой керамической подложки, которая задерживает твердые частицы, присутствующие в отработавших газах, тем самым очищая газы по мере их прохождения через фильтр. В дизельных двигателях с воспламенением от сжатия при использовании ДСФ может быть достигнуто снижение выбросов РМ на 45–92 %, при этом снижение выбросов ЧУ также может достигать до 70–90 %<sup>64</sup>. Кроме того, при использовании дизельного окислительного каталитического нейтрализатора или каталитического покрытия в проточных стенках можно добиться снижения выбросов СО и ЛОС на 60–90 %. Однако применение дизельного окислительного каталитического нейтрализатора ограничено при содержании серы в топливе, превышающем 50 частей на миллион. Кроме того, после определенного времени эксплуатации уловленные частицы накапливаются на фильтре и увеличивают перепад давления; поэтому необходимо использовать систему сжигания или окисления, что негативно сказывается на выбросах NO<sub>x</sub> и СО<sub>2</sub>. Наконец, применение ДСФ влечет за собой увеличение расхода топлива на 1–4 %, что, как и в большинстве случаев применения технологий очистки дымовых газов, также ухудшает экологический след судна.

63. Для обеспечения надлежащего функционирования технологии ДСФ следует использовать малосернистое топливо (с содержанием серы менее 0,5 % по весу, что не вызовет проблем после вступления в силу ограничений по содержанию серы согласно регламенту ИМО 2020), а также контролировать температуру отработавших газов. Необходимость дополнительного пространства для установки ДСФ в силу ее больших размеров может оказаться дополнительным ограничением, в частности это касается установки сажевых горелок для регенерации. И наконец, применение ДСФ на морских судах все еще довольно ограничено по сравнению с автомобильной отраслью; кроме того, последние исследования показали, что были проведены только краткосрочные испытания, и данная технология на морском транспорте все еще находится на экспериментальной стадии применения.

#### *Рукавные фильтры*

64. Рукавные фильтры — это высокопроизводительные фильтры, которые в последнее время широко применяются в нескольких пилотных проектах на морском транспорте. Благодаря использованию рукавных фильтров было отмечено значительное сокращение выбросов РМ и ЧУ, превышающее 99 %<sup>65</sup>. В целом, для

<sup>61</sup> Hulda Winnes and others, “NO<sub>x</sub> controls for shipping in EU Seas. Transport and Environment”, Report No. U5552 (Stockholm, IVL Swedish Environmental Research Institute, 2016).

<sup>62</sup> Incentive Partners and Litehauz, *Economic Impact Assessment*.

<sup>63</sup> Rouil, “ECAMED”.

<sup>64</sup> Papadimitriou, *Best Available Techniques*.

<sup>65</sup> LAB, DeepBlueLAB - Bag particle filters. Personal communication (2020).

обеспечения высокой эффективности и долговечности рукавного фильтра отработавшие газы перед поступлением в фильтр должны пройти десульфурацию. Поэтому при введении в рукавный фильтр химически активного агента, например бикарбоната натрия, выбросы  $SO_x$  также могут быть резко снижены. Наконец, снижение выбросов  $NO_x$  также достижимо за счет использования каталитических пакетов с противопоточным впрыском мочевины, что, однако, может увеличить выбросы  $NH_3$  за счет проскока  $NH_3$ .

65. Основными преимуществами данной технологии являются ее совместимость с технологиями серо- и азоточистки для целей соответствия приложениям к Конвенции МАРПОЛ, а также потребление небольшого количества необходимой дополнительной электроэнергии, низкий перепад давления (10–20 миллибар) и минимальная необходимость в техническом обслуживании.

## VII. Наилучшие имеющиеся методы в портах

### A. Общеприменимые методы сокращения выбросов

66. Внедрение методов сокращения выбросов для судов, стоящих у причала в портовых зонах, доказало свою эффективность; например, благодаря принятой стратегии сокращения выбросов в портах Лос-Анджелеса и Лонг-Бич в период с 2005 по 2013 год сокращение выбросов  $PM$ ,  $NO_x$  и  $SO_2$  достигло 81 %, 55 % и 89 % соответственно<sup>66</sup>. Представленные выше наилучшие имеющиеся методы (НИМ) для главных двигателей позволяют добиться снижения выбросов и в портах, однако некоторые из методов очистки отработавших газов (т. е. вторичные меры) при очень низких нагрузках на двигатель могут оказаться неэффективными. Более того, вспомогательные двигатели вносят не меньший и даже больший чем главные двигатели вклад в выбросы стоящих у причала судов; поэтому вспомогательные двигатели также должны быть оснащены системами очистки отработавших газов.

67. К числу других эффективных средств ограничения ухудшения качества воздуха в портовых зонах относятся оптимизация запланированного времени пребывания судов у причала, внедрение автоматизированных систем швартовки (АСШ) и береговых насосов для операций по разгрузке наливных грузов. Использование АСШ позволило добиться снижения объема ежегодных выбросов  $NO_x$  эквивалентного выбросам 5000 дизельных автомобилей в Хельсинки<sup>67</sup>, а также сэкономить топливо и снизить выбросы  $CO_2$  благодаря сокращению времени стоянки. В другом исследовании приводятся данные о ежегодном сокращении выбросов  $NO_x$ ,  $PM$ ,  $SO_2$  и  $CO_2$  на 3,6 %, 11,2 %, 3,5 % и 3,6 % соответственно благодаря инфраструктуре АСШ в порту Измит-Бей<sup>68</sup>. При перевалке испаряющихся жидкостей применимы системы улавливания паров, позволяющие сократить неорганизованные выбросы ЛОС до 99 %<sup>69</sup>.

<sup>66</sup> IMO, “Study of emission control and energy efficiency measures for ships in the port area”, document No. MEPC 68/INF.16

<sup>67</sup> Cavotec, “Automated mooring substantially reduces harmful emissions in Helsinki city centre” (19 July 2021). URL: [www.mynewsdesk.com/cavotec/pressreleases/automated-mooring-substantially-reduces-harmful-emissions-in-helsinki-city-centre-3116249](http://www.mynewsdesk.com/cavotec/pressreleases/automated-mooring-substantially-reduces-harmful-emissions-in-helsinki-city-centre-3116249).

<sup>68</sup> Alper Seyhan, Cenk Ay and Cengiz Deniz, “Evaluating the emission reduction efficiency of automatic mooring system and cold ironing: the case of a port in Izmit Bay”, *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*, vol. 15, No. 2 (2023), pp. 227–245.

<sup>69</sup> Hulda Winnes and others, “NOx controls for shipping in EU Seas.

## В. Электроснабжение судов от береговой сети или барж

68. Энергоснабжение судов от береговой сети, также известное как «электроснабжение при холодном двигателе», заключается в подаче электроэнергии на находящиеся у причала суда<sup>70</sup> при выключенных главных и вспомогательных двигателях. Таким образом, как и в случае большинства методов электрификации, этот метод эффективен при выработке электроэнергии более чистым способом по сравнению со сжиганием топлива в судовых двигателях. Кроме того, при выработке электроэнергии на возобновляемых источниках или на ядерной энергии этот метод обеспечивает получение электроэнергии практически с нулевыми выбросами с точки зрения выбросов отработавших газов; однако, как показывает полная ОЖЦ, которая представляет большой интерес для декарбонизации сектора, и в этом случае полностью исключить выбросы не удастся. Эта методика особенно интересна и важна в контексте здравоохранения, поскольку причалы часто расположены в густонаселенных районах.

69. В тех регионах, где производство электроэнергии на электростанциях регулируется на должном уровне, переход на электроснабжение судов от береговых источников (ЭСБИ) позволил добиться снижения выбросов NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM и ЛОС до 95 %<sup>71</sup>. Заслуживает внимания опыт Китая, совершившего переход на использование всеми судами, стоящими у причалов в китайских терминалах, во вспомогательных двигателях средневязкого дизельного топлива (СДТ) с содержанием серы, равным 0,5 весового процента, а также на электроснабжение от береговых источников, когда 65,5 % электроэнергии производится электростанциями, оснащенными техническими средствами борьбы с загрязнением окружающей среды и работающими на обессеренном угле, а остальные энергетические потребности в ней удовлетворяются за счет возобновляемых источников энергии или атомной энергетики; благодаря применению указанных методов сокращение выбросов по SO<sub>2</sub> составило 81 %, по NO<sub>x</sub> — 97 %, по PM — 77 % и 22 % по CO<sub>2</sub><sup>72</sup>. С точки зрения достижения углеродной нейтральности внедрение систем берегового электроснабжения в Европе (Европейский союз находится в процессе введения нормативного режима, который сделает системы ЭСБИ обязательным), по оценкам, позволяет сократить выбросы CO<sub>2</sub> на 39 %, при этом на местном уровне сокращение может достигать до 54–99 % (99 % в Осло; по всей вероятности, это стало возможно по причине крайне низкой углеродоемкости электроэнергии)<sup>73</sup>.

70. Анализ системы электроснабжения от береговых источников (ЭСБИ) позволяет выявить некоторые проблемы, связанные с используемой в сети частотой, системой поддержания напряжения на борту, динамической или статической нагрузкой, заземлением, количеством точек подключения, конфигурацией причала, возможностями модернизации существующих судов, а также стоимостью электроэнергии. Однако следует учитывать, что ЭСБИ создает и другие преимущества в виде снижения общего уровня шума в порту и вибрации судов, а также косвенно стимулирует переход на применение электрических или гибридных аккумуляторных батарей. Лучшими кандидатами для внедрения «электроснабжения при холодных двигателях» являются контейнеровозы, рефрижераторы, круизные суда и паромы, поскольку они работают на регулярных линиях и во время стоянки у причала нуждаются в значительном количестве электроэнергии.

71. ЭСБИ должны включать в себя оборудование для подключения к распределительной электрической сети, подземные помещения для электрооборудования, трансформатор, а также подходящее пространство для

<sup>70</sup> European Maritime Safety Agency, *Shore-Side Electricity (SSE): Guidance to Port Authorities and Administration* (n.p., 2022). URL: [www.emsa.europa.eu/electrification/sse.html](http://www.emsa.europa.eu/electrification/sse.html).

<sup>71</sup> LAB, DeepBlueLAB - Bag particle filters.

<sup>72</sup> Cheng Jiuling and Li Haibo, “Analysis of Environmental Benefits of Shore Power for Preventing and Controlling Air Pollution Caused by Vessels at Berth”, *E3S Web of Conferences*, vol. 53, art. No. 04036 (2018).

<sup>73</sup> IMO, “Reduction of GHG emissions from ships: Vessel shore power installation worldwide”, document No. MEPC 73/INF.29/Rev.1.

электроустановки, кабельные колодцы, кабельное и синхронизирующее оборудование и причальную инфраструктуру. Все эти инфраструктурные сооружения требуют инвестиций, которые, по оценкам ряда исследований, проведенных в портах США и Канады, колеблются в диапазоне от 1 до 15 млн. долл. на один причал (0,9–14 млн евро по курсу середины 2022 года)<sup>74</sup>. Снизить инвестиции позволяет планирование и проектирование перехода на «береговое электроснабжение» до начала строительства порта. С точки зрения судовладельца, затраты на переоснащение судна для обеспечения возможности подключения существующих судов к береговой электросети составляют от 0,4 до 2 млн долл. США (0,37–1,87 млн евро по курсу середины 2022 года) в зависимости от конструкции судна, и, как ожидается, по мере расширения применения этого метода затраты будут снижаться<sup>75</sup>. Кроме того, в настоящее время возможность питания от ЭСБИ уже закладывается в проекты большинства новых судов. См. также исследование Европейской комиссии<sup>76</sup> по ЭСБИ.

72. Система электроснабжения от баржи состоит в обеспечении судна электрической энергией с помощью внешнего по отношению к судну двигателя, который соответствует лучшим стандартам выбросов по сравнению с судовыми двигателями. Как правило, в двигателях барж используются СПГ или другие альтернативные виды топлива, например биотопливо. Кроме того, преимущество данной технологии состоит в простоте использования и высокой мобильности при переходе с одного пирса к другому, а также более низкие в сравнении с ЭСБИ инвестиции в инфраструктуру. Для судов возникают те же ограничения, что и в случае подключения к береговым энергосистемам. В зависимости от оборудования энергоблока плавучей базы и условий эксплуатации сокращение выбросов достигается за счет применения разнообразных подходов. В случае работающего на СПГ двигателя цикла Отто можно ожидать снижения выбросов до 80 % по NO<sub>x</sub>, 98 % по PM, почти 100 % по SO<sub>2</sub> и 30 % по CO<sub>2</sub><sup>77</sup>. Затраты на применение этой технологии составляют около 0,2 млн долл. США (0,19 млн евро по курсу середины 2022 года), необходимых для модернизации судна и около 1000 долл. в час (т. е. 933 евро по курсу середины 2022 года) в час для оплаты работы энергетической системы баржи.

### С. Методы очистки отработавших газов на берегу или на барже

73. Еще одной возможностью снижения выбросов судов в портах является очистка отработавших газов на выходе из трубы судна, которая напрямую соединена с системами очистки отработавших газов на берегу. Кроме того, эти системы требуют электропитания для работы и сами генерируют отработавшие газы, которые могут проходить очистку одновременно с отработавшими газами судна. Эти системы обычно состоят из мокрого скруббера в сочетании с СКВ и имеют целью достичь уровней выбросов, аналогичных береговым системам ЭСБИ. При применении описанной технологии сокращение выбросов PM и NO<sub>x</sub> может достигать 98 % и 95 % соответственно<sup>78</sup>.

74. Основное преимущество этого метода заключается в том, что на судне не требуется никаких модификаций; кроме того, система очистки может работать как на стоящей на якоре барже, так и на причале. Однако в применении этой технологии существуют некоторые ограничения, обусловленные конфигурацией портов и доков,

<sup>74</sup> Global Environment Facility (GEF)-United Nations Development Programme (UNDP)-IMO GloMEEP Project and International Association of Ports and Harbours (IAPH), *Port Emissions Toolkit, Guide No.2 – Development of Port Emissions Reduction Strategies* (n.p., 2018).

<sup>75</sup> Thalís Zis, “Prospects of cold ironing as an emissions reduction option”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 119 (January 2019), pp. 82–95.

<sup>76</sup> European Alternative Fuels Observatory, Ports and infrastructure, “Maritime Ports”, URL: <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/maritime-sea/ports-and-infrastructure>.

<sup>77</sup> IMO, “Study of emission control”.

<sup>78</sup> G. Tan Weiwei and others, “Application of the DOC-DPF integrated exhaust particle treatment device for new diesel marine engines”, *IOP Conference Series: Earth and Environment Science*, vol. 358, No. 4 (2019).

пространством терминала и возможным вмешательством в погрузочно-разгрузочные операции. Этот метод считается еще не до конца отработанным и требует доработки, которая необходима для выявления его эффективности при различных нагрузках по отработавшим газам. В настоящее время имеется лишь весьма ограниченная информация о стоимости применения этого метода. В одном случае производитель оценил индивидуальную стоимость этой системы примерно в 8 млн долл. США (7,5 млн евро по курсу середины 2022 года) при создании большого количества таких систем<sup>79</sup>.

## VIII. Выводы и рекомендации

75. В вышеприведенных пунктах были проиллюстрированы несколько методов снижения выбросов, производимых судами, как во время плавания, так и у причала, а также рассмотрены ограничения в их применении, их преимущества и недостатки, эффективность снижения выбросов, включая оценку инвестиционных и эксплуатационных затрат. Некоторые из обсуждаемых методов представлены уже зрелыми технологиями, в то время как другие требуют дальнейшего развития. С другой стороны, очевидно, что не все методы подходят и применимы ко всем типам и размерам судов.

76. Налицо необходимость регулирования на международном уровне, главным образом в рамках Конвенции МАРПОЛ. Некоторые аспекты также могут регулироваться на местном, национальном и региональном уровне. По крайней мере в некоторых районах региона Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций (например, в субрегионе Европейского союза) уже введены нормы по контролю качества судового топлива, а на местном уровне в некоторых портах реализуются проекты ЭСБИ. Огромное значение для улучшения качества воздуха в соответствующих городах имеют меры, принимаемые на местном уровне, особенно в отношении качества и типа топлива, а также портовой инфраструктуры.

77. Инновационные методы находятся в стадии разработки, и они могут способствовать дальнейшему сокращению выбросов, когда перейдут из экспериментальной фазы в фазу повсеместного применения.

78. Экспертам Сторон рекомендуется должным образом учитывать методы, информация по которым представлена в настоящем руководящем документе, при участии в будущих обсуждениях и разработке международных правил (например, МАРПОЛ, Конвенция Организации Объединенных Наций по морскому праву) и при составлении национальных планов сокращения выбросов, принимая также во внимание синергетический эффект одновременного снижения загрязнения воздуха и мер по борьбе с изменением климата/декарбонизации.

---

<sup>79</sup> GEF, *Port Emissions Toolkit*.